

следствие, меньшее накопление отложений парафинов и механических примесей в стекловолоконных трубах обеспечивает снижение потерь напора на трение и местное сопротивление, а также повышает эксплуатационные характеристики промышленного трубопровода [3]. Помимо этого, трубопроводы из базальтоволнока более эффективны для использования в низкотемпературных условиях за счет малой теплопроводности, чем традиционные стальные трубы, что позволяет снизить затраты на теплоизоляцию. и, как показал гидравлический расчёт, более устойчивы к динамическим нагрузкам.

Таким образом, внедрение базальтовых труб в транспортировку углеводородов является весьма перспективным направлением развития нефтегазовой отрасли. Однако отсутствие необходимой нормативной базы для их проектирования, а также методов и технологий для контроля и мониторинга можно выделить как одну из основных причин, по которой на сегодняшний день российский рынок в области базальтоволноконных труб не велик.

Литература

1. Hou, Y. & Lei, D. & Li, S. & Yang, W. & Li, C.Q. Experimental Investigation on Corrosion Effect on Mechanical Properties of Buried Metal Pipes. International Journal of Corrosion. 2016. Vol. 2016. Article ID 5808372. 13 p. Available at: <http://dx.doi.org/10.1155/2016/5808372>
2. Piyush Sharma. An introduction to basalt rock fiber and comparative analysis of engineering properites of brf and other natural composites. Department of Civil Engineering, Amity School of Engineering & Technology/ Amity University, Haryana, India. Available at: <https://ru.scribd.com/doc/297487777>.
3. Trykoz L., Kamchatnaya S., Pustovoitova O., Atynian A. Reinforcement of composite pipelines for multipurpose transportation. Politehnika Slaska: Transport problems. 2018. Vol. 13.No. 1. P. 69-79

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ РАСЧЕТА УСЛОВИЙ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ

П.В. Волков

Научный руководитель - профессор П.Н. Зятиков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Введение

С появлением мощных персональных компьютеров работа инженера-проектировщика стала намного проще. Инженеру больше не приходится полагаться на приближенные ручные методы вычислений, в их распоряжении появился широкий спектр дополнительных вычислительных средств. Это относится к расчетам условий гидратообразования, для выполнения которых было разработано несколько компьютерных программ. В основу этих программ положены строгие термодинамические модели. Рассмотрим обзор трех наиболее известных моделей. Одна из проблем при изучении газовых гидратов заключается в их нестехиометричности. [4]

Фазовое равновесие

Условия фазового равновесия, сформулированные Гиббсом более 100 лет назад, заключаются в следующем: 1) равенство температуры и давления фаз; 2) равенство химических потенциалов каждого компонента во всех фазах системы; 3) глобальный минимум свободной энергии Гиббса в системе. Эти критерии применимы и для фазовых равновесий в системах с газовыми гидратами и служат основой для создания моделей для выполнения расчетов равновесия таких систем. [5]

С точки зрения термодинамики процесс гидратообразования для построения модели можно представить протекающим в два этапа. На первом этапе из чистой воды формируется незаполненная гидратная решетка. Данный этап представляет собой лишь гипотетическое построение, но оно удобно для выполнения расчетов. Второй этап заключается в заполнении полостей в кристаллической решетке гидрата. Схему всего процесса можно представить следующим образом: [2]

чистая вода (α) \rightarrow незаполненная решетка гидрата (β) \rightarrow заполненная решетка гидрата (H).

Изменение химического потенциала при этом описывается следующей формулой:

$$\mu^H - \mu^\alpha = (\mu^H - \mu^\beta) + (\mu^\beta - \mu^\alpha), \quad (1)$$

где μ - химический потенциал, а надстрочные индексы обозначают соответствующие фазы. Первый член в правой части равенства представляет собой стабилизацию кристаллической решетки гидрата. Существуют различия между оценками значения этого члена в разных моделях. Второй член в правой части равенства соответствует изменению фазового состояния воды и определяется с помощью обычных термодинамических вычислений. Значение этого члена определяется через следующее уравнение:

$$\frac{\mu^H - \mu^\alpha}{RT} = \frac{\Delta\mu(T, P)}{RT} = \frac{\Delta(T_0, P_0)}{RT} - \int_{T_0}^T \frac{\Delta H}{RT^2} dT + \int_{P_0}^P \frac{\Delta \vartheta}{RT} dP, \quad (2)$$

Модель Ван-дер-Ваальса и Платтеува

Первую модель для расчета условий гидратообразования разработали Ван-дер-Ваальс и Платтеув [4]. Ими была предложена статистическая модель гидратообразования. Процесс концентрации неводных молекул в гидрате в этой модели рассматривается по аналогии с адсорбцией газа на твердом теле. Для одной молекулы-гостя этот член выражения определяется следующим образом:

$$\mu^H - \mu^G = RT \sum_i \vartheta_i \ln(1 - Y_i), \quad (3)$$

где ϑ_i - количество полостей i -го типа, а Y - функция вероятности. Величина Y определяется как вероятность того, что полость i -го типа окажется занятой молекулой-гостем, и вычисляется по формуле:

$$Y_i = \frac{c_i P}{1 + c_i P}, \quad (4)$$

В этой формуле c_i является функцией занятости молекулы-гостя и полости, а P - давление.

Модель Пэрриша и Праусница

Одной из первых моделей, обеспечивавших необходимую точность, была модель Пэрриша и Праусница [4]. Существуют два принципиальных различия между первоначальной моделью Ван-дер-Ваальса и Платтеува [4] и моделью, предложенной Пэрришем и Праусницем [4]. Во-первых, они расширили возможность применения своей модели для многокомпонентных смесей гидратообразующих веществ. Для этого они использовали уравнение:

$$\mu^H - \mu^G = RT \sum_i \vartheta_i \ln(1 - \sum_K Y_{Ki}), \quad (5)$$

где вторая сумма вычисляется по всем компонентам смеси.

Функция вероятности для каждого отдельного компонента при этом принимает вид:

$$Y_{Ki} = \frac{c_i P_K}{1 + \sum_K c_i P_K}, \quad (6)$$

В этой формуле сумма также вычисляется по всем компонентам смеси, а P с нижним индексом обозначает парциальное давление данного компонента. Остальные компоненты смеси также включаются в выражение, поскольку их молекулы конкурируют между собой за заполнение тех же полостей решетки. Таким образом, присутствие других молекул-гостей уменьшает для данной молекулы-гостя вероятность проникновения в кристаллическую решетку гидрата.

Во-вторых, Пэрриш и Праусниц [4] заменили парциальное давление в формуле (4) на летучесть. При введении летучести в формулу (4), последняя принимает вид:

$$Y_{Ki} = \frac{c_i \hat{f}_K}{1 + \sum_K c_i \hat{f}_K}, \quad (7)$$

где \hat{f} летучесть i -го компонента газовой смеси.

Это позволило учесть в модели отклонения от идеальности в газовой фазе и, таким образом, расширить возможность ее применения для более высоких значений давления. Кроме того, некоторые из параметров модели были скорректированы, чтобы отразить переход от давления к летучести, а также повысить адекватность модели в целом. Любопытно отметить, что в то время, когда Пэрриш и Праусниц [1] впервые представили свою модель, роль н-бутана в процессах гидратообразования еще не была до конца понятна. Хотя ученые указали значения параметров для многих компонентов (включая большинство компонентов, имеющих значение в газовой промышленности), параметры для н-бутана ими указаны не были. Более поздние варианты метода Пэрриша и Праусница были скорректированы с включением н-бутана.

Модель Нг и Робинсона

Следующим важным достижением стала модель Нг и Робинсона [4]. Разработанная ими модель могла использоваться для расчета условий гидратообразования в равновесных системах с жидкими углеводородами. Для этого, прежде всего, потребовалось ввести в уравнение (2) параметры изменения энтальпии и изменения объема или, по меньшей мере, составить альтернативный вариант этого уравнения.

В модели Нг и Робинсона [1] значения летучести рассчитывались с помощью уравнения состояния Пенга и Робинсона [1]. Это уравнение состояния применимо как к газам, так и к неводным жидкостям. Кроме того, параметры модели были незначительно скорректированы, чтобы учесть переход к уравнению Пенга-Робинсона.

Следует отметить, что более поздние версии метода Пэрриша и Праусница были также приспособлены для выполнения расчетов систем, в состав которых входят жидкие гидратообразующие вещества.

Вычисления:

Для решения задачи необходимо произвести вычисления для условно выбранного типа гидрата. Используя приведенные выше уравнения, необходимо вычислить величину изменения свободной энергии в этом процессе. Эти вычисления выполняются путем последовательного приближения до тех пор, пока не будет найдено решение, удовлетворяющее условию [3]:

$$\mu^H - \mu^A = 0$$

При фазовом равновесии химические потенциалы двух фаз должны быть равны. Для чистых компонентов, если тип образующегося гидрата известен, вычисления на этом заканчиваются (при условии, что тип гидрата был изначально выбран правильно). Затем нужно повторно произвести вычисления для другого типа гидрата при заданной температуре и ранее вычисленном значении давления. Если результат этих вычислений удовлетворяет условию:

$$\mu^H - \mu^A > 0,$$

то первоначально выбранный тип гидрата является стабильной формой, и вычисления на этом заканчиваются. Если разность химических потенциалов окажется меньше нуля, то тип гидрата, первоначально выбранный для вычислений, является нестабильным. В этом случае следует повторно выполнить цикл итераций для другого типа гидрата. После нахождения решения вычисления заканчиваются. [3]

Литература

1. Бойко С.И., Литвиенко А.В. Сепарационная техника для систем сбора, подготовки и переработки нефтяного газа // Газовая промышленность. – Москва, 2013. – № 10. – С. 85 – 87.
2. Бухгалтер Э.Б. Метанол и его использование. – М.: Недра, 1986. – 240 с.
3. Бучинский С.В. Управление тепловыми режимами гидратообразования с учетом конструктивных особенностей промысловых трубопроводов: Автореферат. Дис. канд. геол.-минер. наук. – Тюмень, 2002г. – 19 с.
4. Джон Кэрролл. Гидраты природного газа. – М.: ЗАО «Премииум Инжиниринг», 2007. – 316 с.
5. Совершенствование сепарационного оборудования за счет применения новых контактных устройств Технология // Газовая промышленность. – Москва, 2016. – № 7-8. – С.56 – 60.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕПЕНИ ДИССОЦИАЦИИ ГИДРАТОВ НА ТЕПЛОВОЙ АЭРОМЕХАНИЧЕСКОЙ УСТАНОВКЕ

П.В. Волков

Научный руководитель - профессор П.Н. Зятиков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Введение

В самом широком смысле гидратами называют химические соединения, в состав которых входит вода. Так, например, существует класс неорганических соединений, называемых «твердыми гидратами». Они представляют собой твердые вещества с ионным типом связей, в которых ионы окружены молекулами воды и образуют твердое кристаллическое тело. В нефтяной и газовой промышленности газовые гидраты являются фактором негативным, так как сильно усложняют добычу, транспортировку и подготовку углеводородного сырья. При определенных термобарических условиях гидраты осаждаются и накапливаются на стенках сосудов, трубопроводах и в полостях арматуры. Это приводит к их износу и увеличению гидравлического сопротивления, а, следовательно, и повышение энергетических затрат. Присутствие гидратов в аппаратах подготовки газа, конденсата, нефти и другого углеводородного сырья ухудшает технологический процесс, делают режим подготовки нестабильным, что отражается на качестве конечного продукта. [3]

Для того, чтобы эффективно бороться с отложениями гидратов, необходимо уметь правильно и комплексно рассчитывать параметры их образования и диссоциации в каждом отдельном случае. При этом систему расчета делать дифференциальной, так как такие параметры как состав, температура, давление, объемный расход сырья крайне непостоянны. Необходимо иметь детальную физико-математическую модель, которая будет решать множество задач, связанных с различными условиями эксплуатации и разработки нефтяных и газовых месторождений. [4]

Установка для теплофизического воздействия для предотвращения гидратообразования

Подробное описание принципа работы и устройства установки изложено в предыдущей статье [1]. На (рис.1) представлен общий вид экспериментальной установки с обозначением элементов. В настоящее время были